

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

дата защиты 25.12.2014 протокол № 20

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.125.07 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКИЙ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ПО ДИССЕРТАЦИИ  
ВОРОНИНОЙ ЛЮДМИЛЫ НИКОЛАЕВНЫ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Диссертация «Методы обеспечения параллельного включения транзисторных инверторов» в виде рукописи по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) на кафедре «Микроэлектронные электросистемы».

Диссертация принята к защите 23 октября 2014 г., протокол №14.

Соискатель Воронина Людмила Николаевна, гражданка Российской Федерации, начальник бригады отдела электрооборудования АО «РСК «МиГ»; в период подготовки диссертации обучалась в очной аспирантуре МАИ с целевым направлением для АО «РСК «МиГ» по кафедре 306 «Микроэлектронные электросистемы».

В 2004 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет).

Научный руководитель – доктор технических наук Шевцов Даниил Андреевич, профессор кафедры 306 «Микроэлектронные электросистемы» МАИ.

**Официальные оппоненты:**

1. Лукин Анатолий Владимирович, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, академик АЭН РФ, генеральный директор ЗАО «МПП-Ирбис»;
2. Коняхин Сергей Федорович, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, главный конструктор систем преобразования электроэнергии – зам. Главного конструктора ОАО «Аэроэлектромаш»;

дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** Открытое акционерное общество «Авиационное оборудование», г. Москва, дала положительное заключение. Заключение подготовлено Мусиным Сергеем Миргасовичем, доктором технических наук, профессором, председателем НТС, директором Департамента качества и надежности и Калием Валерием Алексеевичем, кандидатом технических наук, ученым секретарем НТС, главным конструктором по направлению СЭС.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов:

**Отзыв** Лукина Анатолия Владимировича (официальный оппонент), доктора технических наук, заверен главным инженером ЗАО «МПП-Ирбис», кандидатом технических наук Кастровым М.Ю. Замечания:

– принцип введения компенсирующих связей подробно исследован только для задающих генераторов инверторов;

– в работе не указано, на какое максимальное количество параллельно соединенных модулей инверторов распространяется предложенный метод;

– работоспособность предложенных схем подтверждена только компьютерным моделированием. Отсутствует проверка полученных результатов на макетных образцах;

- вывод на странице 67 нигде ранее не обсуждался;
- работа грешит неточностями и описками: ф. (2.4) на стр.47; формула для определения частоты биений на стр. 53; стр.51 дана ссылка на рис. 2.14 вместо 2.18 и др.

**Отзыв** Коняхина Сергея Федоровича (официальный оппонент), кандидата технических наук. Замечания:

- из множества дестабилизирующих факторов, влияющих на распределение токов через параллельно соединенные инверторы подробно исследован только один – неидентичность задающих генераторов инверторов;

- в работе не указано на какое максимальное количество параллельно соединенных модулей инверторов распространены предложенные методы симметрирования;

- работоспособность схем подтверждена только компьютерным моделированием. Отсутствует проверка полученных результатов на натурном образце.

**Отзыв** ведущей организации ОАО «Авиационное оборудование», утвержден директором департамента качества и надежности ОАО «Авиационное оборудование», доктором технических наук Мусиным С.М. Замечания:

- отсутствует аналитический обзор зарубежной литературы;
- слабо освещены современные методы компенсации разброса параметров инверторов напряжения;

- не представлены цифровые методы управления инверторами;
- не ясно, почему автором для анализа были выбраны только два варианта схем управления: управление по напряжению и ШИМ-регулирующим, управление по току и релейным регулированием.

**Отзыв на автореферат** Твердова И.В., кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, доктора электротехники Академии

Электротехнических наук РФ, научного консультанта ООО «АЭИЭП».

Замечания:

– эффективность инверторов определяют такие параметры как надежность, КПД, удельные характеристики Вт/дм<sup>3</sup>, Вт/кг. К сожалению, автор не выполнил экспериментальные исследования и макетирование, что не позволяет оценить эти параметры;

– кроме того, выполнение предложенных узлов на отечественной элементной базе может вызвать дополнительный разброс токов инверторов соединенных параллельно.

**Отзыв на автореферат** Реутова В.Г., доктора технических наук, заместителя главного конструктора ФГУП МОКБ «Марс». Замечания:

– отсутствует экспериментальное подтверждение полученных теоретических результатов с использованием макетов рассматриваемых устройств;

– хотя на защиту выносятся четыре метода (два метода устранения разбросов выходных напряжений инверторов и два метода введения дополнительных связей), ни один из них, судя по автореферату, не защищен патентом на изобретение способа. В списке работ автора приводятся лишь два патента на полезные модели.

**Отзыв на автореферат** Зайцевой Н.А., доктора технических наук, профессора, заместителя начальника отдела ОАО «МИЭА». Замечания:

– не отмечены способы обеспечения равномерного токораспределения на выходе инверторов при синхронизированных задающих генераторах, используемых на данный момент;

– не проведен расчет надежности рассматриваемой многомодульной конструкции инвертора;

– работоспособность метода подтверждена только компьютерным моделированием, отсутствует подтверждение результатов на макетном образце.

**Отзыв на автореферат** Лизунова А.А., кандидата технических наук, начальника отдела разработки электронной аппаратуры ОАО «ГосНИИП».

Замечания:

- рассмотрено только два типа инверторов: с управлением по току и с управлением по напряжению;
- не отмечено, как на данный момент обеспечивается симметричность токов на выходе инверторов;
- отсутствует проверка работоспособности схем на макетном образце.

**Отзыв на автореферат** Фещенко С.В., кандидата технических наук, ведущего конструктора бюро оборудования ИЦ «ОКБ им. А.И. Микояна».

Замечания:

– в качестве основного недостатка существующих методов синхронизации задающих генераторов указана их недостаточная надежность; предлагаемый метод синхронизации позиционируется как более эффективный, однако результаты анализа его надежности в автореферате отсутствуют;

– в автореферате рассмотрены частные случаи влияния разброса параметров задающих генераторов, датчиков выходного напряжения, устройств управления и параметров ШИМ на распределение токов параллельно работающих инверторов. Анализ ситуации, в которой имеет место разброс параметров всех перечисленных устройств, в автореферате отсутствует. Кроме того, отсутствуют результаты оценки степени влияния (весовые коэффициенты) разброса параметров каждого из перечисленных устройств;

– в п.1 перечня научных и практических результатов диссертационной работы приведено излишне категоричное утверждение о том, что существующие методы синхронизации задающих генераторов инверторов нельзя считать надежными и подходящими для СЭС ЛА.

### **В дискуссии приняли участие:**

Самсонович Семен Львович, Ковалев Константин Львович, Попов Борис Николаевич, Кириллов Владимир Юрьевич, Кривилев Александр Владимирович.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 11 научных работ общим объёмом 1,97 печатных листов, в том числе 4 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Соискателем опубликовано 6 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов; имеется 2 патента РФ на полезную модель.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Воронина Л.Н. Новый метод обеспечения параллельной работы инверторов / Воронина Л.Н., Шевцов Д.А. // Вестник московского авиационного института 2012, т. 19, № 5, С. 114-130.
2. Воронина Л.Н. Сравнительный анализ известных методов обеспечения параллельной работы инверторов/ Воронина Л.Н., Шевцов Д.А.// Практическая силовая электроника. № 49, 2013 г. С. 52-55.
3. Воронина Л.Н. Анализ влияния разбросов параметров на режим работы многомодульных инверторов // Вестник московского авиационного института 2013, т. 20, № 3, С. 139-144.
4. Воронина Л.Н. Новый метод обеспечения параллельной работы задающих генераторов для транзисторных инверторов // Итоги диссертационных исследований. Том 3. – Материалы IV Всероссийского конкурса молодых ученых. – М.: РАН, 2012. – С. 34-45.
5. Воронина Л.Н. Методы обеспечения параллельной работы задающих генераторов для транзисторных инверторов // 10-я международная конференция «Авиация и космонавтика-2011». 8–10

ноября 2011 г. Москва. Тезисы докладов. – СПб.: Мастерская печати, 2011. – С. 226-227.

6. Воронина Л.Н. Разработка методов обеспечения параллельной работы задающих генераторов для транзисторных инверторов/ Воронина Л.Н., Шевцов Д.А. // Московская молодежная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике-2012». 17–20 апреля 2012 г. Москва. Сборник тезисов докладов. – М.: ООО «Принт-салон». – С. 60-61.

7. Воронина Л.Н. Анализ существующих методов обеспечения параллельной работы транзисторных инверторов / Воронина Л.Н., Шевцов Д.А.// Идеи К.Э. Циолковского: прошлое, настоящее, будущее: материалы XLVII Научных чтений памяти К.Э. Циолковского – Калуга: Издательство «Эйдос». – С. 191-192.

8. Воронина Л.Н. Анализ влияния разбросов параметров на работу параллельно включенных инверторов и обеспечение равномерного токораспределения / Воронина Л.Н., Шевцов Д.А.// 11-я международная конференция «Авиация и космонавтика-2012». 13–15 ноября 2012 г. Москва. Тезисы докладов. – СПб.: Мастерская печати, 2012. – С. 248-249.

9. Воронина Л.Н. Устранение постоянной составляющей выходного тока инвертора/ Воронина Л.Н., Шевцов Д.А. // Московская молодежная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике-2013». 16–18 апреля 2013 г. Москва. Сборник тезисов докладов. – М.: ООО «Принт-салон». – С. 216-217.

10. Патент на полезную модель № 128805 «Система синхронизации транзисторных инверторов» от 27.05.13 г., (Воронина Л.Н., Шевцов Д.А.).

11. Патент на полезную модель № 135205 «Инвертор с устройством для уменьшения постоянной составляющей выходного напряжения» от 27.11.13 г., (Воронина Л.Н., Шевцов Д.А.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются компетентными учёными в области силовой полупроводниковой электроники, что подтверждается их научными публикациями. Выбор ведущей организации обуславливается широкой известностью её достижений в области научных исследований, изложенных в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработаны** компьютерные модели однофазных и трехфазных инверторов с управлением, как по напряжению, так и по току, а также структурные, функциональные и схемотехнические решения для синхронизации выходных напряжений однофазных и трехфазных инверторов по амплитуде, частоте и фазе в многомодульных инверторах с управлением по току и с управлением по напряжению;

– **предложен** метод введения компенсирующих связей, устраняющих разброс по амплитуде, частоте и фазе, обеспечивающий синхронизацию выходных напряжений параллельно работающих инверторов и исключающий задачу синхронизации задающих генераторов по амплитуде, частоте и фазе;

– **проведены** сравнительный анализ известных методов обеспечения параллельной работы инверторов с целью выявления их достоинств и недостатков, анализ работы функциональных узлов для определения их влияния на неравномерность токораспределения между параллельно работающими инверторами и анализ способов обеспечения равномерного токораспределения между параллельно работающими инверторами;

– **сформулирована** задача определения функциональных блоков и выявление параметров, неблагоприятно влияющих на возможность параллельного включения модулей инверторов, а также поиск функциональных и схемотехнических решений, позволяющих создавать инверторы, способные при параллельном включении обеспечить



равномерное токораспределение между модулями и отсутствие «биений» выходного напряжения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– предложен метод введения компенсирующих связей, устраняющих разброс по амплитуде, частоте и фазе, обеспечивающий синхронизацию выходных напряжений параллельно работающих инверторов и исключаящий задачу синхронизации задающих генераторов по амплитуде, частоте и фазе. Предложенные связи позволяют объединять задающие генераторы и устройства управления в единый блок, позволяющий модулям работать как единое устройство;

– показана работоспособность предложенного метода для задающих генераторов различных типов (задающие генераторы на основе мультивибратора, на основе полосовых фильтров, а также задающие генераторы с фазовращателями для трехфазных инверторов);

– выявлено необходимое число компенсирующих связей, устраняющих разброс по амплитуде, частоте и фазе между задающими генераторами параллельно включенных инверторов для обеспечения работоспособности инверторов как с управлением по напряжению, так и с управлением по току;

– показано, что на несинхронность выходных напряжений параллельно работающих инверторов помимо параметров задающих генераторов влияют также параметры устройств управления.

– выявлено, необходимое число дополнительных компенсирующих связей, устраняющих разброс по амплитуде, частоте и фазе, между управляющими устройствами инверторов;

– выявлено, что для исключения взаимного влияния связей как между задающими генераторами, так и между управляющими устройствами инверторов необходимо вводить буферные каскады. Предложены структурные и схемотехнические решения данных каскадов;

– подтверждена работоспособность способа введения дополнительных связей между задающими генераторами и устройствами управления для

однофазных и трехфазных инверторов как с управлением по напряжению, так и с управлением по току в номинальном, переходном и аварийном режимах.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

– предложена классификация известных методов синхронизации задающих генераторов и выявлены их достоинства и недостатки;

– разработаны компьютерные модели однофазных и трехфазных инверторов с управлением, как по напряжению, так и по току, позволяющие исследовать процессы в параллельно работающих инверторах;

– предложена реализация метода, обеспечивающего синхронизацию выходных напряжений параллельно работающих инверторов и исключающего задачу синхронизации задающих генераторов на основе мультивибратора и задающих генераторов на основе полосовых фильтров;

– предложена реализация метода введения дополнительных связей между управляющими устройствами инверторов, обеспечивающего более равномерное токораспределение в номинальном, аварийном и переходном режимах;

– предложены структурные и схемотехнические решения буферных каскадов.

**Оценка достоверности результатов выявила:**

– результаты теоретических исследований подтверждаются корректным использованием положений теории электрических цепей, теории автоматического управления и концепции многоканального преобразования энергетического потока; применяемым математическим и имитационным аппаратом; сопоставлением проведенных исследований с опубликованными материалами других авторов.

**Личный вклад соискателя** состоит в том, что им предложены: способ введения компенсирующих связей, устраняющих разброс выходных напряжений задающих генераторов по амплитуде, частоте и фазе; способ

введения компенсирующих связей, устраняющих разброс выходных напряжений инверторов по амплитуде, частоте и фазе, при разбросе параметров датчиков выходного напряжения инверторов; способ уменьшения постоянной составляющей выходного напряжения инвертора. Также автором разработаны компьютерные модели в программе PSpice, позволяющие анализировать и исследовать электромагнитные процессы в однофазных и трехфазных инверторах как с управлением по напряжению, так и с управлением по току. С помощью компьютерного моделирования доказано, что предложенный способ введения компенсирующих связей эффективен в номинальном, аварийном и переходном режимах.

Диссертация охватывает все вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Ворониной Л.Н. является законченной и обоснованной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения в области силовых статических преобразователей электроэнергии, которые имеют существенное значение для электроэнергетики Российской Федерации.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Ворониной Людмиле Николаевне учёную степень кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек из 28 человек, входящих в состав совета, из них 8

докторов технических наук по специальности 05.09.03, 6 докторов технических наук по специальности 05.09.01, 4 доктора технических наук по специальности 05.02.02, 1 кандидат технических наук по специальности 05.02.02, участвовавших в заседании, проголосовали: за присуждение учёной степени 19, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета



Самсонович С.Л.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Степанов В.С.

25 декабря 2014 г.